有机微量元素对蛋鸡生产性能、血清抗氧化指标、蛋黄中微量元素含量及微量元素减排效果的影响

曲湘勇[1] 彭灿阳[1] 蔡 超[1] 陈 彩[2] 曹冬梅[3] 孙安权[3]

（1.湖南农业大学动物科学技术学院，湖南畜禽安全生产协同创新中心，长沙 410128；2.湖南三尖农牧有限责任公司，常德 415701；3.奥格生物技术（上海）有限公司，上海 201203）

摘 要：本试验旨在探讨低于常规预混料中无机微量元素添加量的小肽螯合铁、铜、锰、锌与纳米硒复合使用对蛋鸡生产性能、血清抗氧化指标、蛋黄中微量元素含量以及微量元素减排效果的影响。选择 225 只 50 周龄、体重相近、健康的海兰褐壳蛋鸡，随机分为 5 组，每组 5 个重复，每个重复 9 只。在基础饲粮中添加饲料级无机微量元素 6 mg/kg 铜、75 mg/kg 铁、60 mg/kg 锌、60 mg/kg 锰、0.3 mg/kg 硒，为无机组，试验组为 70%有机组、60%有机组、50%有机组、40%有机组，其微量元素添加量分别为无机组的 70%、60%、50%、40%。预试期 10 d，正试期 42 d。结果表明：1）与无机组相比，60%有机组可显著提高产蛋率（P<0.05），并显著降低料蛋比（P<0.05），各组在蛋品质上无显著差异（P>0.05）。2）与无机组相比，70%有机组显著提高了血清谷胱甘肽过氧化物酶（GSH-Px）活性（P<0.05），有机组均显著提高了血清总抗氧化能力（T-AOC）（P<0.05），70%和 60%有机组显著降低了血清丙二醛（MDA）含量（P<0.05）。3）各组蛋黄中铜、锰、铁含量无显著差异（P>0.05）；与无机组相比，60%有机组显著提高了蛋黄锌含量（P<0.05），而 50%与 40%有机组在显著提高蛋黄锌含量（P<0.05）的同时，显著降低了硒含量（P<0.05）。4）有机组粪中铜、锰、锌的含量均显著低于无机组（P<0.05）。综合考虑，为保证蛋鸡正常生产和生理功能，在 50~56 周龄，按常规预混料中无机微量元素添加量的 60%添加小肽螯合铁、铜、锰、锌与纳米硒效果较好。

关键词：有机微量元素；蛋鸡；生产性能；抗氧化；减排

中图分类号：S816

目前，对鸡微量元素的需求还是参照以往 NRC（1994）的标准，而鸡的品种和营养需求研究已发生质的变化且取得显著进步，探讨低剂量的有机微量元素使用对有效利用资源具

收稿日期：2016-01-01
基金项目：湖南农业大学产学研基金项目（10045，13098）
作者简介：曲湘勇（1962—），男，湖南长沙人，教授，博士,主要研究方向为家禽生产科学。E-mail: quxy99@126.com

有重要意义。Boruta 等[1]报道，蛋鸡饲喂 8%、13%、33% NRC（1994）标准有机微量元素，相比 100% NRC（1994）水平的无机盐，各组蛋鸡的产蛋率相近。Peric 等[2]研究报道，在 1~42 日龄肉鸡饲粮中添加 30% NRC（1994）标准的有机微量元素铜、锰、铁、锌，能维持肉鸡正常的生产性能。Rao 等[3]研究表明，低剂量的有机微量元素对肉鸡的生长性能和抗氧化性能没有影响。以上说明，利用有机微量元素高效吸收的特点，降低动物微量元素的使用具有潜在的可行性。但同时降低 5 种微量元素添加量来探讨低剂量的有机微量元素对蛋鸡的影响还未见报道。因此本研究主要探讨低于常规预混料中无机微量元素添加量的小肽螯合铁、铜、锰、锌与纳米硒的复合使用对蛋鸡生产性能、血清抗氧化指标、蛋黄中微量元素含量及微量元素减排效果的影响，并讨论降低微量元素使用的适宜水平，为有机微量元素的科学用量和蛋鸡生产提供理论参考。

1 材料与方法

1.1 试验材料

饲料级无机微量元素为：$CuSO_4 \cdot 5H_2O$、$FeSO_4 \cdot H_2O$、$ZnSO_4 \cdot H_2O$、$MnSO_4 \cdot H_2O$、Na_2SeO_3，小肽螯合微量元素和纳米硒均为市售产品，各有机微量元素含量如下：锌 15%，锰 15%，铜 10%，铁 12%，硒 1‰，纳米硒经投射电子显微镜观察，平均粒径为 50~100 nm。

1.2 试验动物与饲粮组成

试验动物选用 50 周龄健康海兰褐壳蛋鸡，由湖南三尖饲料有限公司提供。试验饲粮参照 NRC（1994）和《鸡饲养标准》（NY/T33-2004），选用蛋鸡产蛋期配合饲粮，饲粮组成及营养水平见表 1。

表 1 基础饲粮组成及营养水平（风干基础）

Table 1 Composition and nutrient levels of the basal diet (air-dry basis) %

项目 Items	含量 Content
原料 Ingredients	
玉米 Corn	54.00
豆粕 Soybean meal	12.00
棉籽粕 Cottonseed meal	8.00
菜籽粕 Rapeseed meal	3.50
玉米蛋白粉 Corn protein meal	6.30
次粉 Wheat middling	4.50
羽毛粉 Feather meal	1.00
石粉 Limestone	4.00

磷酸氢钙 $CaHPO_4$	4.80
食盐 NaCl	0.30
豆油 Soybean oil	0.60
预混料 Premix[1)]	1.00
合计 Total	100.00
营养水平 Nutrient levels[2)]	
代谢能 Metabolic energy/(MJ/kg)	10.92
粗蛋白质 CP	16.70
钙 Ca	3.25
有效磷 AP	0.36
赖氨酸 Lys	0.82
蛋氨酸 Met	0.30
蛋氨酸+半胱氨酸 Met+Cys	0.63

[1)] 预混料可为每千克饲粮提供 The premix provided the following per kg of the diet：VA 13 500 IU，VD 3 000 IU，VE 22.5 mg，VK 3.0 mg，VB_1 3.0 mg，VB_2 7.5 mg，VB_6 3.0 mg，VB_{12} 0.22 mg，泛酸钙 calcium pantothenate 15.0 mg，烟酸 nicotinic acid 30.0 mg，叶酸 folic acid 1.5 mg，生物素 biotin 0.12 mg，胆碱 chloride 400 mg，I (as potassium iodide) 0.3 mg。

[2)]营养水平均为计算值。Nutrient levels were calculated values.

1.3 试验设计与饲养管理

本研究采取单因素试验设计，将 225 只 50 周龄、体重相近、健康、采食正常的蛋鸡，随机分为 5 组，每组 5 个重复，每个重复 9 只。以 NRC（1994）标准为参照，并根据国内蛋鸡饲养实际情况，在基础饲粮中添加饲料级无机微量元素 6 mg/kg 铜（$CuSO_4$•$5H_2O$）、75 mg/kg 铁（$FeSO_4$•H_2O）、60 mg/kg 锌（$ZnSO_4$•H_2O）、60 mg/kg 锰（Mn SO_4•H_2O）、0.3 mg/kg 硒（Na_2SeO_3），为无机组，试验组为 70%有机组、60%有机组、50%有机组、40%有机组，分别添加无机组中微量元素添加量的 70%、60%、50%、40%的有机复合微量元素（铁、铜、锰、锌为小肽螯合物，硒为纳米硒）。预试期 10 d，在此期间对鸡群进行调整，使各组蛋鸡的饲料消耗量、产蛋率、蛋重差异不显著，正试期 42 d。

本试验在湖南三尖饲料有限公司蛋鸡养殖场进行。鸡舍为半开放式，试验产蛋鸡采用上、中、下 3 层阶梯式笼养，每笼 3 只，每 3 笼为 1 个重复。各组饲养管理条件相同，每日喂料 2 次（09:00、15:00），收蛋 2 次（11:30、16:30），自由采食、饮水，每日光照时间为 16 h，自然光照和人工光照相结合。每周清粪 1 次、对鸡舍带鸡喷雾消毒 1 次。

1.4 样品采集与指标测定

1.4.1　样品采集和处理

试验第 42 天 18:00，采集当天所产全部鸡蛋，标记好日期、组别，每组按重复取 15 个，测定蛋品质。每组按重复另取 10 个，取蛋黄置于-20 ℃冰箱保存，用于测定蛋黄中微量元素含量。

于正试期结束后第 1 天 08:00 进行鸡翅下静脉采血。每组按重复随机选取 10 只鸡，采血 5 mL，缓缓注入试管中，静置 30 min 后，于 3 000 r/min 离心 10 min，吸取上清液 0.5~1.0 mL，注入 1.5 mL 离心管中，标记组别日期，置于-20 ℃冰箱保存，用于测定血清抗氧化指标。

正试期第 42 天，各组每个重复随机选取 3 只蛋鸡连续采集 3 d 粪样，装密封袋，做好标记，-20 ℃保存。准确取 150 g 左右于 65 ℃烘干，回潮 24 h，称重，粉碎，制成风干粪样用于微量元素含量测定。

1.4.2　蛋鸡生产性能

试验期间每天按重复记录各组试验蛋鸡的采食量、产蛋个数、总蛋重，计算平均蛋重、产蛋率、日产蛋量、平均日采食量、料蛋比。

1.4.3　蛋品质

使用电子数显卡尺测定蛋形指数（蛋的长径/短径）。用蛋品质分析仪（EA-01，以色列 ORKA 公司）分别测定蛋重、蛋黄色泽、蛋白高度和哈氏单位等。用蛋壳厚度测定仪（NFN-380，日本 FHK 公司）测定蛋壳厚度（蛋的钝端、尖端及中间的平均值）。用蛋壳强度仪（EFR-01，以色列 ORKA 公司）测定蛋壳强度。

1.4.4　血清抗氧化指标

采用南京建成生物工程研究所试剂盒测定血清总抗氧化能力（T-AOC）、谷胱甘肽过氧化物酶（GSH-Px）、总超氧化物歧化酶（T-SOD）活性和丙二醛（MDA）含量。各指标具体操作方法参照试剂盒说明书。

1.4.5　微量元素含量

微量元素含量测定采用火焰原子吸收光谱法，参考 GB/T 5009.92-2003、GB/T 500.92-2003、GB/T 9695.3-2009、张星海等[4]等的方法。

蛋黄处理如下：取 1.0~1.5 g 均匀蛋黄样于 150 mL 锥形瓶，加入 15 mL 混酸[$V(HNO_3)$:V

（$HClO_4$）=9:1]，盖上薄膜过夜消化，次日将锥形瓶置于加热板加热消化至溶液清亮无色并伴有白烟，溶液体积约为 2 mL，取下冷却，加 5 mL HCl（6 mol/L）继续加热到溶液清亮无色并伴有白烟，定容至 100 mL 容量瓶，同时做空白试验。

粪样预处理采用干灰化法。称取 3 g 左右粪样于坩埚中，加入 10 mL 稀 HCl[V(HCL):V(H_2O)=1：3]，用电炉小心加热蒸干，放入马弗炉先低温碳化至无烟，再 550 ℃使灰化完全。冷却后加少许水润湿，加入 15 mL 稀 HCl[V（HCl）:V(H_2O)=1：3]、1~2 mL 混酸[V(HNO_3):V($HClO_4$)=9:1]，加热煮沸 3~5 min，过滤，定容至 100 mL 容量瓶。

按照火焰原子吸收仪器操作进行标准液配制和操作，每次测量前需定标准曲线。测镁、锰含量时需加入 1~2 mL 10%的 $SrCl_2$ 溶液以消除干扰。

1.5 统计分析

试验数据用 SAS 9.0 软件进行单因素方差分析，再用 Duncan 氏法进行多重比较。各组之间的数据以平均值±标准差表示，P<0.05 表示差异显著。

2 结果与分析

2.1 不同剂量有机微量元素对蛋鸡生产性能的影响

由表 2 可知，与无机组相比，60%有机组显著提高蛋鸡产蛋率 8.72%（P<0.05），其他有机组则无显著变化（P>0.05）；各组间蛋鸡平均日采食量、平均蛋重、日产蛋量差异不显著（P>0.05）；除 40%有机组外，其他有机组的料蛋比均低于无机组，其中 60%有机组显著低于无机组（P<0.05），降低了 3.88%。

表 2 不同剂量有机微量元素对蛋鸡生产性能的影响

Table 2 Effects of different levels of organic trace minerals on performance of laying hens （n=5）

项目 Items	无机组 Inorganic group	有机组 Organic groups				P 值 P-value
		70%	60%	50%	40%	
产蛋率 Laying rate/%	79.71±8.31^{b}	80.91±6.42^{b}	86.66±5.73^{a}	82.63±5.92^{b}	79.48±8.91^{b}	0.028
平均蛋重 Average egg weight/g	60.01±1.88	60.12±1.51	58.91±1.23	59.36±1.64	59.48±1.95	0.624
料蛋比 Feed to egg ratio	2.32±0.15^{ab}	2.27±0.15^{bc}	2.23±0.16^{c}	2.24±0.13^{bc}	2.37±0.18^{a}	0.006
平均日采食量 Average daily feed intake/(g/d)	110.62±3.10	109.88±3.06	112.47±2.76	110.51±4.36	110.69±5.15	0.715
日产蛋量 Daily egg production/g	47.84±4.98	48.64±3.85	51.05±3.36	48.95±3.59	47.27±5.31	0.114

同行数据肩标不同小写字母表示差异显著（P<0.05），相同或无字母表示差异不显著（P>0.05）。下表同。

In the same row, values with different small letter superscripts mean significant difference (P<0.05), while with the same or no letter superscripts mean no significant difference (P>0.05). The same as below.

2.2 不同剂量有机微量元素对蛋鸡蛋品质的影响

由表 3 可知，各组间蛋壳强度、蛋壳比重、蛋壳厚度、蛋形指数、蛋白高度、哈氏单位、蛋黄颜色均差异不显著（P>0.05）。

表 3 不同剂量有机微量元素对蛋鸡蛋品质的影响

Table 3 Effects of different levels of organic trace minerals on egg quality of laying hens

项目 Items	无机组 Inorganic group	有机组 Organic groups				P 值 P-value
		70%	60%	50%	40%	
蛋壳强度 Egg shell Strength/N	39.06±7.25	37.67±5.52	39.51±6.60	40.31±6.54	39.66±5.48	0.646
蛋壳比重 Eggshell proportion/%	10.07±0.78	10.00±0.78	10.16±1.01	10.22±0.82	9.94±0.93	0.534
蛋壳厚度 Egg shell thickness/mm	0.408±0.036	0.418±0.030	0.413±0.043	0.418±0.045	0.405±0.040	0.212
蛋形指数 Egg shape index	1.30±0.05	1.32±0.05	1.31±0.04	1.30±0.05	1.30±0.04	0.748
蛋白高度 Albumen height/mm	5.21±1.04	4.99±0.84	5.02±1.29	5.02±1.29	5.23±1.10	0.273
哈氏单位 Haugh unit	70.24±10.42	68.94±7.64	69.11±10.36	69.20±7.64	71.04±8.51	0.328
蛋黄颜色 Yolk color	5.16±1.06	5.07±0.91	5.28±1.08	5.38±0.83	5.16±1.04	0.314

2.3 不同剂量有机微量元素对蛋鸡血清抗氧化指标的影响

由表 4 可知，与无机组相比，70%有机组血清 GSH-Px 活性显著提高了 16.82%（P<0.05），60%、50%、40%有机组分别降低了 10.67%、9.20%、17.02%（P<0.05）；各组间血清 T-SOD 活性没有显著差异（P>0.05）；与无机组相比，有机组血清 T-AOC 分别显著提高了 170.11%、133.15%、126.09%、134.24%（P<0.05）；与无机组相比，70%和 60%有机组血清 MDA 含量显著降低（P<0.05），分别降低了 28.65%、27.79%。

表 4 不同剂量有机微量元素对蛋鸡血清抗氧化指标的影响

Table 4 Effects of different levels of organic trace minerals on serum antioxidant indexes of laying hens

项目 Items	无机组 Inorganic group	有机组 Organic groups				P 值 P-value
		70%	60%	50%	40%	
谷胱甘肽过氧化物酶 GSH-Px/(mU/mL)	770.18±73.09^{b}	899.75±57.35^{a}	687.95±60.42^{c}	699.29±57.20^{c}	639.12±70.91^{cd}	<0.001
总超氧化物歧化酶 T-SOD/(U/mL)	95.55±3.31	92.00±6.02	99.03±6.55	98.84±6.44	101.31±3.39	0.316
总抗氧化能力 T-AOC/(U/mL)	1.84±0.13^{b}	4.97±0.85^{a}	4.29±0.54^{a}	4.16±0.52^{a}	4.31±0.76^{a}	<0.001
丙二醛 MDA/(mmol/mL)	6.98±1.44^{a}	4.98±1.24^{b}	5.05±1.07^{b}	5.61±1.62^{ab}	6.61±1.84^{ab}	0.012

2.4 不同剂量有机微量元素对蛋黄中微量元素含量影响

由表 5 可知，饲粮中添加不同剂量的有机微量元素对蛋黄中铜、锰、铁的含量无显著

影响（P>0.05）；与无机组相比，60%有机组蛋黄中锌含量显著提高 22.92%（P<0.05）；50%与 40%的有机组蛋黄锌含量显著提高（P<0.05）的同时，显著降低硒含量（P<0.05）。

表 5　不同剂量有机微量元素对蛋黄中微量元素的影响（湿重基础）

Table 5　Effects of different levels of organic trace minerals on mineral elements in egg yolk（wet weight basis）

μg/g

项目 Items	无机组 Inorganic group	有机组 Organic groups 70%	60%	50%	40%	P 值 P-value
铜 Cu	2.84±0.22	2.74±0.51	2.67±0.30	2.64±0.43	2.57±0.42	0.415
锰 Mn	0.81±0.19	0.81±0.17	0.86±0.26	0.78±0.34	0.76±0.12	0.258
锌 Zn	39.13±2.61^{b}	43.70±2.84^{ab}	48.10±3.28^{a}	47.80±3.35^{a}	49.82±3.84^{a}	0.026
铁 Fe	67.71±5.42	69.50±8.77	66.06±9.75	61.67±7.48	63.79±7.51	0.536
硒 Se	285.21±25.32^{a}	271.59±34.28^{a}	250.46±22.37^{ab}	220.51±18.64^{bc}	200.44±20.68^{c}	0.038

2.5　不同剂量有机微量元素对粪中微量元素含量影响

由表 6 可知，除粪中铁含量外，有机组粪中微量元素铜、锰、锌含量均显著低于无机组（P<0.05），并随着添加剂量降低而降低。与无机组相比，有机组粪中铜含量分别降低了 49.47%、57.29%、62.16%、64.42%；粪中锰含量分别降低了 28.32%、36.91%、40.00%、42.26；粪中锌含量分别降低了 22.33%、24.71%、26.56%、28.29%。

表 6　不同剂量有机微量元素对粪中微量元素的影响（干重基础）

Table 6　Effects of different levels of organic trace minerals on mineral elements in manure(dry weight basis)

μg/g

项目 Items	无机组 Inorganic group	有机组 Organic groups 70%	60%	50%	40%	P 值 P-value
铜 Cu	57.37±7.42^{a}	28.99±8.39^{b}	24.50±4.14^{b}	21.71±2.58^{b}	20.41±3.54^{b}	<0.001
锰 Mn	254.48±19.36^{a}	182.42±20.27^{b}	160.54±17.42^{b}	152.68±17.92^{b}	146.94±19.32^{b}	<0.001
锌 Zn	369.49±44.28^{a}	286.97±29.71^{b}	278.18±31.09^{b}	271.34±27.59^{b}	264.96±31.69^{b}	<0.001
铁 Fe	472.74±49.36	447.66±49.64	448.12±48.69	440.67±48.26	445.79±48.22	0.567

3　讨　论

3.1　不同剂量有机微量元素对蛋鸡生产性能的影响

Gheisari 等[5]研究发现，按 NRC（1994）推荐的锌、铜、锰用量 50%~75%的氨基酸复合物可维持蛋鸡正常的产蛋率，相比添加 60、75、7 mg/kg 硫酸盐形式的锌、锰、铜，40、40、7 mg/kg 的氨基酸复合形式的锌、锰、铜可显著降低料蛋比；Payne 等[6]研究表明，在海兰 W-36 蛋鸡饲粮中添加低水平的酵母硒（0.15 mg/kg）与较高的水平的酵母硒（0.30 mg/kg）

相比，两者之间生产性能没有差异；Abdallah 等[7]认为肉鸡饲粮中单独添加有机微量元素对生产性能影响效果不显著，添加肽螯合锌、锰，可提高体重、饲料转化效率和胫骨灰分。本试验结果表明，低剂量的小肽螯合物铁、铜、锰、锌和纳米硒复合使用也可满足蛋鸡正常生产需要，其中 60%有机组可显著提高蛋鸡产蛋率，并降低料蛋比。这可能跟小肽螯合微量元素和纳米硒的吸收机制有关，两者高效的特点可能增强了蛋鸡对微量元素的吸收，从而维持蛋鸡的正常生产需要。乔伟等[8]认为，根据小肽的吸收转运机制和特点，以小肽为主要配体的微量元素螯合物可能以整体的形式被转运，因而更有利于微量元素生物学效价的提高。而纳米硒与动物机体细胞膜具有更高效的相互作用界面，使黏膜通透性增加，促进动物的吸收，并由于纳米硒颗粒在肠道中形成了纳米乳剂，可改进肠道对硒的吸收[9]。有机微量元素的种类（蛋白螯合盐、氨基酸螯合物、金属多糖复合物）、替代比率、不同的组合，以及试验蛋鸡的阶段都会对产蛋率有不同影响，本试验 60%有机组产蛋率显著高于 70%有机组，可能是由于小肽螯合微量元素的添加量超过最适宜标准，对产蛋无促进作用。

3.2 不同剂量有机微量元素对蛋鸡蛋品质的影响

蛋的外部品质主要为蛋壳品质，微量元素中铜、锌和锰对蛋品质影响较大[10-13]。龙丽娜等[14]研究发现，在蛋鸡饲粮中使用羟基蛋氨酸螯合锰、锌，与无机组相比，在减少微量元素添加量 50%的情况下，蛋壳厚度、蛋壳比重无显著变化；Gheisari 等[5]在蛋鸡饲粮中添加 20.0、20.0、3.5 mg/kg 以及 40、40、7 mg/kg 的氨基酸复合形式的锌、锰、铜与 60、75、7 mg/kg 硫酸盐形式的锌、锰、铜相比，蛋壳比重、蛋壳厚度、蛋壳强度都无显著差异。本试验结果表明，低剂量的小肽螯合物铁、铜、锰、锌和纳米硒复合使用对蛋鸡的蛋壳品质没有负面影响。推测这可能是本试验中低剂量的小肽螯合物铁、铜、锰、锌和纳米硒复合使用加强了蛋鸡对钙、磷的吸收。杨凤[15]认为，蛋壳厚度、强度和光洁度与钙、磷的吸收密切相关；微量元素可能通过增加蛋鸡对钙的利用率从而改善蛋壳品质；Mabe 等[16]认为微量元素可能在蛋壳形成初始阶段通过促进其早期的融合从而提高蛋壳强度；Zamani 等[17]进一步认为微量元素可能通过影响蛋壳及壳膜形成过程中的关键酶或者直接影响钙结晶体结构的形成从而影响蛋壳质量。

对于蛋的内部品质，本研究主要探讨了蛋白高度、蛋黄颜色、哈氏单位。Fernandes 等[18]研究发现，低于对照组无机微量元素添加量的有机锌、锰、锌对蛋品质无影响，与本试

验结果相似，低剂量的微量元素也可保证内部蛋品质。而 Gheisari 等[5]试验报道，低剂量的蛋氨酸铜、锰、锌复合使用未降低内部蛋品质，并显著提高了哈氏单位。赵波[19]报道，将复合蛋氨酸铁、铜、锰、锌、硒以 80%替代复合无机微量元素时，哈氏单位高于无机硫酸盐组。本试验结果中的低水平与高水平有机组哈氏单位相差不大，这可能跟硒水平有关，田志珍[20]研究报道高剂量的硒可引起蛋形指数、蛋壳强度、蛋白高度、蛋壳比重的显著变化。

3.3 不同剂量有机微量元素对蛋鸡血清抗氧化指标的影响

本试验中，相比无机组，60%、50%、40%组都显著降低了血清 GSH-Px 活性。郭军蕊等[21]在 1 日龄肉仔鸡饲粮中添加 0.1、0.3、0.5、0.7 mg/kg 蛋氨酸硒，各组生产性能无显著差异，而血清 GSH-Px 活性随硒添加量的减少而降低；胥保华[22]报道，血清 GSH-Px 活性随着纳米硒添加水平升高而升高，0.2 mg/kg 纳米硒组血清 GSH-Px 活性极限著高于 0.1 mg/kg 组。另外有研究表明，缺锌或低锌会减少体内有活性的 GSH-Px 含量，导致过氧化脂质生成增多，而使 GSH-Px 消耗增多导致其活性下降[23-24]。本试验中 70%有机组显著提高了血清 GSH-Px 活性，同上理，可能由于微量元素的降低幅度不大，而有机微量元素具有高效吸收的特点，从而使蛋鸡的血清 GSH-Px 活性得到了增强。无机组与低剂量的有机组在血清 T-SOD 活性上没有显著差异，T-SOD 可反映锰 SOD(MnSOD)及铜锌 SOD(CuZn-SOD)，说明低剂量的小肽螯合铜、锰、锌能保证 MnSOD 及 CuZn-SOD 活性不受影响，孙会等[25]研究表明，仔猪饲粮中添加 50 mg/kg 的酵母铜与 250 mg/kg 的 $CuSO_4$ 相比，在抗氧化酶活性方面具有相同的作用效果。本试验低剂量的有机组都显著提高了血清 T-AOC，70%和 60%有机组显著降低了血清 MDA 含量。推测低水平的有机微量元素可能增加了抗氧化酶的活性及抗氧化蛋白的合成，其相关机理还有待进一步研究。

3.4 不同剂量有机微量元素对蛋黄中微量元素含量的影响

本试验结果表明，低剂量的有机微量元素对蛋黄中铜、锰、铁含量无显著影响，但影响了蛋黄中的锌、硒的含量。张楠等[26]试验证明，当微量元素比例适宜时，较低添加量也能达到提高鸡蛋微量元素含量的目的，本试验结果与其一致，70%与 60%有机组并未显著降低蛋黄中微量元素的含量。在本试验中，40%与 50%有机组降低了蛋黄中的硒含量，但增加了蛋黄中锌的含量，可能是锌与其他微量元素存在的拮抗作用，Skrivan 等[27]报道，蛋黄锌、铜含量明显受锌-铜拮抗作用影响。蛋黄中硒含量会降低，可能跟硒的添加水平有关，胥保

华[22]、曲湘勇等[28]、Cai 等[29]研究表明低硒饲粮会降低机体中硒的含量。

3.5 不同剂量有机微量元素对粪中微量元素的影响

研究表明，由于低剂量的有机微量元素吸收好，可降低粪中微量元素的排放，减轻畜禽生产中环境污染的压力。Bao 等[30]研究报道，补充 4 mg 的铜和 40 mg 铁，锰和锌的蛋白螯合有机微量元素可满足肉鸡正常生长，且使用低剂量的有机微量元素可避免高浓度的微量矿物质排泄。Leeson 等[31]报道，用蛋白质螯合微量元素按 17~42 日龄肉用仔鸡饲粮中无机微量元素（对照组中锌、锰、铜和铁含量分别为 60、77、5.0 和 85 mg/kg）含量的 100%、80%、60%、40%和 20%添加时，粪便中微量元素的排泄量显著下降，20%添加组锰、锌、铜的排放量分别降低了 52%、38%、21%，而铁的排泄量下降没达显著差异，表明有机微量元素在降低排泄物中微量元素浓度方面具有优越性。本试验结果也表明，低剂量的有机微量元素可降低粪中锰、锌、铜的含量，但铁的含量未降低。有研究表明，猪粪样中矿物元素排放与饲粮中添加的铁源无关，无论饲粮中添加何种铁源，猪粪样中的矿物元素排泄量随添加量的减少而减少[32]。

4 结　论

在本试验条件下，低于常规预混料中无机微量元素添加量的小肽螯合铁、铜、锰、锌与纳米硒复合使用能满足 50~56 周龄蛋鸡正常生产与生理功能，并能有效减少微量元素的排放，综合考虑，添加量按无机组微量元素添加量的 60%效果较好。

参考文献：

[1] BORUTA A,SWIERCZEWSKA E,GLEBOCKA K,et al.Trace organic minerals as a replacement of inorganic sources for layers:effects on productivity and mineral Excretion[C]//Proceedings of the 16th European symposium on poultry nutrition.[S.l.]:World Poultry Science Association,2007:491–494.

[2] PERIC L,NOLLET L,MILOŠEVIC N,et al.Effect of Bioplex and Sel-Plex substituting inorganic trace mineral sources on performance of broilers[J].Archiv Für Geflügelkunde,2007,71(3):122–129.

[3] RAO S V R,PRAKASH B,KUMARI K,et al.Effect of supplementing different Concentrations of organic trace minerals on performance,antioxidant activity,and bone mineralization in Vanaraja

chickens developed for free range farming[J].Tropical Animal Health and Production,2013,45(6):1447–1451.

[4] 张星海,周晓红.火焰原子吸收光谱法测定奶粉中金属元素[J].理化检验-化学分册,2009,45(5):512–513.

[5] GHEISARI A A,SANEI A,SAMIE A,et al.Effect of diets supplemented with different levels of manganese,zinc,and copper from their organic or inorganic sources on egg production and quality characteristics in laying hens[J].Biological Trace Element Research,2011,142(3):557–571.

[6] PAYNE R L,LAVERGNE T K,SOUTHERN L L.Effect of inorganic versus organic selenium on henproduction and egg selenium concentration[J].Poultry Science,2005,84(2):232–237.

[7] ABDALLAH A G,EL-HUSSEINY O M,ABDEL-LATIF K O.Influence of some dietary organic mineral supplementations on broiler performance[J].International Journal of Poultry Science,2009,8(3):291–298.

[8] 乔伟,周安国,王之盛,等.小肽促进微量元素吸收的研究进展[J].饲料工业,2006,27(17):12–14.

[9] 蔡超,曲湘勇,魏艳红,等.纳米硒的营养特点及其在鸡生产中的应用[J].动物营养学报,2013,25(12):2818–2823.

[10] BAUMGARTNER S,BROWN D J,SALEVSKY E Jr,et al.Copper deficiency in the laying hen[J].The Journal of Nutrition,1978,108(5):804–811.

[11] LIEN T F,CHEN K L,WU C P,et al.Effects of supplemental copper and chromium on the serum and egg traits of laying hens[J].British Poultry Science,2004,45(4):535–539.

[12] KLECKER D,ZEMAN L,JELINEK P,et al.Effect of manganese and zinc chelates on the quality of eggs[J].Acta Universitatis Agriculturae et Silviculturae Mendelianae Brunensis：Czech Republic,2002,50:59–68.

[13] XIAO J F,ZHANG Y N,WU S G,et al.Manganese supplementation enhances the synthesis of glycosaminoglycan in eggshell membrane:a strategy to improve eggshell quality in laying hens[J].Poultry Science,2014,93(2):380–388.

[14] 龙丽娜,谢春艳,朱年华,等.羟基蛋氨酸螯合锰/锌对产蛋鸡蛋壳品质及微量元素沉积的影

响[J].动物营养学报,2015,27(9):2692–2698.
[15] 杨凤.动物营养学[M].北京:中国农业出版社,2000:293–294.
[16] MABE I,RAPP C,BAIN M M,et al.Supplementation of a corn-soybean meal diet with manganese,copper,and zinc from organic or inorganic sources improves eggshell quality in aged laying hens[J].Poultry Science,2003,82(12):1903–1913.
[17] ZAMANI A,RAHMANI H R,POURREZA J.Supplementation of a corn-soybean meal diet with manganese and zinc improves eggshell quality in laying hens[J].Pakistan Journal of Biological Sciences,2005,8(9):1311–1317.
[18] FERNANDES J I M,MURAKAMI A E,SAKAMOTO M I,et al.Effects of organic mineral dietary supplementation on production performance and egg quality of white layers[J].Revista Brasileira de Ciência Avícola,2008,10(1):59–65.
[19] 赵波.氨基酸微量元素螯合物对蛋鸡生产性能和生理功能的影响研究[D].硕士学位论文.雅安:四川农业大学,2003:32–35
[20] 田志珍.不同硒水平对蛋鸡产蛋性能及蛋品质的影响[J].饲料工业,2003,24(8):28–30.
[21] 郭军蕊,刘国华,郑爱娟,等.不同硒源及水平对肉鸡生长性能、血浆和组织硒含量及血浆谷胱甘肽过氧化物酶活性的影响[J].动物营养学报,2014,26(7):1950–1961.
[22] 胥保华.纳米硒对 Avian 肉鸡的生物学效应及其分子机理的研究[D].博士学位论文.杭州:浙江大学,2003:82–85.
[23] KRAUS A,ROTH H P,KIRCHGESSNER M.Supplementation with vitamin C,vitamin E or β-carotene influences osmotic fragility and oxidative damage of erythrocytes of zinc-deficient rats[J].The Journal of Nutrition,1997,127(7):1290–1296.
[24] 杨鹰,高铭宇,袁莉,等.硒锌互作对肉鸡肝脏抗氧化酶活性的影响[J].中国兽医学报,2002,22(2):178–180.
[25] 孙会,封伟杰,张永发,等.酵母铜对仔猪生长性能及抗氧化作用的影响[J].中国畜牧杂志,2007,43(15):33–35.
[26] 张楠,姚军虎,程妮,等.日粮 Zn、Mn、Cu、Fe 含量对产蛋鸡微量元素表观利用率和鸡蛋品质的影响[J].西北农业学报,2006,15(6):58–62.

[27] SKRIVAN M,SKRIVANOVA V,MAROUNEK M.Effects of dietary zinc,iron,and copper in layer feed on distribution of these elements in eggs,liver,excreta,soil,and herbage[J].Poultry Science,2005,84(10):1570–1575.

[28] 曲湘勇,蔡超,魏艳红,等.不同有机硒源对鹌鹑肉、蛋中硒含量及血清生化指标的影响[J].营养学报,2014,36(4):395–397.

[29] CAI S J,WU C X,GONG L M,et al.Effects of nano-selenium on performance,meat quality,immune function,oxidation resistance,and tissue selenium content in broilers[J].Poultry Science,2012,91(10):2532–2539.

[30] BAO Y M,CHOCT M,IJI P A,et al.Effect of organically complexed copper,iron,manganese,and zinc on broiler performance,mineral excretion,and accumulation in tissues[J].The Journal of Applied Poultry Research,2007,16(3):448–455.

[31] LEESON S,CASTON L.Using minimal supplements of trace minerals as a method of reducing trace mineral content of poultry manure[J].Animal Feed Science and Technology,2008,142(3/4):339–347.

[32] CREECH B L,SPEARS J W,FLOWERS W L,et al.Effect of dietary trace mineral concentration and source (inorganic vs.chelated) on performance,mineral status,and fecal mineral excretion in pigs from weaning through finishing[J].Journal of Animal Science,2004,82(7):2140–2147.

Effects of Organic Trace Minerals on Performance, Serum Antioxidant Indexes, Trace Mineral Contents in Egg Yolk and Trace Minerals Emission Reduction of Laying Hens

QU Xiangyong[1] PENG Canyang[1] CAI Chao[1] CHEN Cai[2] CAO Dongmei[3] SUN Anquan[3]

(1. *Collaborative Innovation Center of Hunan Province Livestock and Poultry Safety Production, College of Animal Science and Technology, Hunan Agricultural University, Changsha* 410128, *China*; 2. *Hunan Sanjian Agricultural Science and Technology Limited Liability Company, Changde* 415701, *China*; 3. *Omega Biotech Shanghai Co., Ltd., Shanghai* 201203, *China*)

Author, professor， E-mail: quxy99@126.com (责任编辑 王智航)

Abstract: This study was conducted to investigate the effects of organic trace minerals (oTM) (small peptides chelated iron, copper, manganese, zinc and nano-selenium) at lower dose than normal inorganic trace minerals (iTM) supplemental level of premix on performance, serum antioxidant indexes, trace mineral contents in egg yolk and trace minerals emission reduction of laying hens. A total of 225 healthy Hy-Line brown layers (50 weeks of age) with similar body weight were randomly divided into 5 groups with 5 replicates per group and 9 hens per replicate. Hens in the inorganic group were fed a basal diet supplemented with iTM of iron, copper, manganese, zinc, selenium at 75, 6, 60, 60, 0.3 mg/kg, respectively. Hens in the organic groups were fed the basal diet supplemented with the combination of small peptides chelated iron, copper, manganese, zinc and nano-selenium at 70%, 60%, 50%, 40% levels of iTM, respectively. The pre-experimental period lasted for 10 days, and the experimental period lasted for 42 days. The results showed as follows: 1) compared with inorganic group, laying rate of 60% organic group was significantly increased (P<0.05), while feed to egg ratio was significantly decreased (P<0.05); there was no significant difference in egg quality among groups (P>0.05). 2) Compared with inorganic group, serum glutathione peroxidase (GSH-Px) activity in 70% organic group was significantly increased (P<0.05), serum total antioxidant capacity (T-AOC) was significantly increased in all organic groups (P<0.05), and serum content of malondialdehyde (MDA) was significantly decreased in 70% and 60% organic groups (P<0.05). 3) There were no significant difference on the contents of copper, manganese and iron in egg yolk; compared with inorganic group, 60% organic group significantly increased zinc content in egg yolk by 22.92% (P<0.05); although 50% and 40% organic groups significantly increased content in egg yolk (P<0.05), selenium content was significantly reduced (P<0.05). 4) Compared with inorganic group, copper, manganese, zinc contents in feces were significantly decreased in all organic groups (P<0.05). In conclusion, in order to keep normal physiological function and production of laying hens at 50 to 56 weeks of age, the supplementation of oTM (small peptides chelated iron, copper, manganese, zinc and nano-selenium) at 60% of normal supplemental level premix inorganic minerals is better.

Key words: organic trace minerals; laying hens; performance; antioxidant; emission reduction